



ВЕСТНИК машиностроения

ЕЖЕМЕСЯЧНЫЙ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ И ПРОИЗВОДСТВЕННЫЙ ЖУРНАЛ

5
2013

ИЗДАЕТСЯ С НОЯБРЯ 1921 ГОДА

*Журнал входит в перечень утвержденных
ВАК РФ изданий для публикации трудов
соискателей ученых степеней*

Журнал переводится на английский язык,
переиздается и распространяется
во всем мире фирмой
"Аллертон Пресс" (США)



ООО «Издательство Машиностроение»
107076, Москва, Стромынский пер., 4

Главный редактор А.И. САВКИН

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:

Алешин Н.П., д-р техн. наук, акад. РАН, Братухин А.Г., д-р техн. наук, Воронцов А.Л., д-р техн. наук, Гусейнов А.Г., д-р техн. наук, Дмитриев А.М., д-р техн. наук, член-корр. РАН (председатель секции обработки материалов без снятия стружки), Драгунов Ю.Г., д-р техн. наук, член-корр. РАН, Древаль А.Е., д-р техн. наук (председатель секции технологии машиностроения), Дроздов Ю.Н., д-р техн. наук, акад. РИА и РАК (председатель секции конструирования и расчета машин), Кугин А.А., д-р техн. наук, Омельченко И.Н., д-р техн. и экон. наук (председатель секции организации и экономики производства), Кузин В.В., д-р техн. наук, Попов Д.Н., д-р техн. наук, Попов А.В., д-р техн. наук, Рыбин В.В., д-р техн. наук, член-корр. РАН, Салтыков М.А., д-р техн. наук, Трегубов Г.П., д-р техн. наук, Скугаревская Н.В. (ответственный секретарь)

Адрес редакции:

107076, Москва,
Стромынский пер., 4.
Телефон: 8-(499)-748-02-91.
E-mail: vestmash@mashin.ru
www.mashin.ru

Журнал зарегистрирован 19 апреля 2002 г.
за № 77-12421 в Комитете Российской Федерации
по печати

Учредитель: А.И. Савкин

Индексы: **70120** ("Роспечать"),
27841 ("Пресса России"),
60264 ("Почта России")

Цена свободная

Отпечатано в ООО "Белый ветер",
115407, г. Москва, Нагатинская наб., д. 54, пом. 4

СОДЕРЖАНИЕ

CONTENTS

КОНСТРУИРОВАНИЕ, РАСЧЕТ, ИСПЫТАНИЯ И НАДЕЖНОСТЬ МАШИН

- Нахатакян Ф. Г. — О решении Н. М. Беляева задачи по определению контактной деформации цилиндров 3
- Благонравов А. А., Юркевич А. В., Солдаткин В. А., Терешин А. В. — Натуральность ведущего кривошипа механического бесступенчатого трансформатора 7
- Касьянов В. Е., Роговенко Т. Н., Зайцева М. М. — Обеспечение заданного усталостного ресурса деталей машин с использованием малых выборок исходных данных 10
- Пшеницын А. А. — Компьютерное моделирование и настройка динамических характеристик распределенных систем 15
- Иванов А. С., Муркин С. В., Ермолаев М. М., Лычагин В. В., Дубоветский Б. О. — Универсальный стенд для испытаний высокоточных редукторов 19
- Коноваленко И. В., Марущак П. О., Окипный И. Б. — Автоматизированный анализ рельефа поверхности разрушения псевдостереометрическим методом 22
- Атапин В. Г., Родионов А. И., Рыков А. А., Юрьев Г. С. — Испытания изделий больших размеров на инерционно-импульсное воздействие 25
- Александров И. К. — Энергетический расчет механического подъемника на основе гиперболической модели КПД 28
- Горчев В. С. — Инженерный метод построения математических моделей автоматических линий 31

Цикл статей

"Проблемы трибологии — трения, изнашивания и смазки"

- Крохалев А. В., Авдеюк О. А., Приходьков К. В., Кузьмин С. В., Лысак В. И. — Оптимизация составов порошковых твердых сплавов, используемых в подшипниках скольжения, смазываемых водой 42

ТЕХНОЛОГИЯ МАШИНОСТРОЕНИЯ

- Карпусь В. Е., Котляр А. В. — Анализ точности многоинструментной обработки на токарных станках 45
- Расторгуев Г. А. — Особенности обработки канавок в деталях машин 50
- Фомин А. А., Гусев В. Г. — Виброперемещения шпинделя под действием моментной и динамической неуравновешенности режущего инструмента 56

Цикл статей

"Проблемы теории механической обработки"

- Воронцов А. Л. — Теоретическое обеспечение технологической механики. 5. Экстремальные принципы и проверка теоретических исследований в области механической обработки металлов. Часть 1. 60

Серия статей

"Проблемы теории и практики резания материалов"

- Кремень З. И., Поповский Д. А., Юрьев В. Г. — Шлифование титановых сплавов шлифовальными кругами на основе эльбора и алмаза 66
- Бурочкин Ю. П. — Новые конструкции резцов с механическим креплением сменных многогранных пластин 69

Обработка материалов без снятия стружки

- Артес А. Э., Сосенушкин Е. Н., Третьохин В. В., Окунькова А. А., Гуреева Т. В. — Новые ресурс- и энергосберегающие технологии изготовления деталей обработкой давлением 72
- Григорьев С. Н., Дмитриев А. М., Коробова Н. В., Толмачёв Н. С. — Снижение силы при штамповке стаканов путем совмещения закрытой прошивки заготовки и раздачи стенки поковки 74
- Щедрин А. В., Козлов А. Ю., Гаврилов С. А., Поляков А. О. — Влияние состава и применения металлоплакирующих смазочных материалов на поверхностное пластическое деформирование инструмента с регулярным микрорельефом 79

ОРГАНИЗАЦИЯ И ЭКОНОМИКА ПРОИЗВОДСТВА

- Речкалов А. В., Дунаев Д. Н., Даутова О. Р. — Среднесрочное планирование продаж и производства 81

ТЕХНИЧЕСКАЯ ИНФОРМАЦИЯ

- Тимофеев Б. П., Новиков Д. В. — Новые стандарты по точности зубчатых колес и передач — необходимое условие повышения конкурентоспособности отечественного редукторостроения 85
- Тарханов В. И. — Свойства крепежных деталей для работы при низких температурах 87

DESIGN, CALCULATION, TESTS AND RELIABILITY OF MACHINES

- Nahatakyan F. G. — Towards N. M. Belyaev solution of the problem of contact deformation of cylinder components determination 3
- Blagonravov A. A., Yurkevich A. V., Soldatkin V. A., Tereshin A. V. — Burden of driving crank of mechanical stepless transformer 7
- Kas'yanov V. E., Rogovenko T. N., Zaitseva M. M. — Securing pre-set fatigue life of machine elements using small sample bench-mark data 10
- Pshenitsyn A. A. — Computational modeling and dynamic characteristics adjustment of distributed systems 15
- Ivanov A. S., Murkin S. V., Ermolaev M. M., Lychagin V. V., Dubovetskiy B. O. — Multi-purpose integration bed for tests of high-precision reducing gears 19
- Konovaleiko I. V., Maruschak P. O., Okipnyi I. B. — Computer aided analysis of destruction surface topography by quasi-stereometric method 22
- Atapin V. G., Rodionov A. I., Rykov A. A., Yur'ev G. S. — Endurance of largeness objects on slow-response-pulse action 25
- Alexandrov I. K. — Energetical computation of power lift on the ground of hyperbolic model of output-input ratio 28
- Gorchev V. S. — Engineering method of mathematical model construction of transfer machines 31

A series of articles

"Problems of tribology — friction, wearing away and lubrication"

- Krohalyov A. V., Avdeyuk O. A., Prihod'kov K. V., Kuz'min S. V., Lysak V. I. — Optimizing makeup of powder of hard alloys using in water greasing friction bearings 42

MANUFACTURING ENGINEERING

- Karpus' V. E., Kotlyar A. V. — Accuracy analysis of multiple-cutter lathing 45
- Rastorguev G. A. — Features of processing of the grooves in the details of machines 50
- Fomin A. A., Gusev V. G. — Arbor vibration displacement under action of moment and dynamic shift of cutting tool unbalance 56

A series of articles

"Problems of theory of machining work"

- Vorontsov A. L. — Theoretic securing technologic mechanic. 5. Extremum principles and prove-out of theoretical studies of machine working metals. Part 1 60

A series of articles

"Problems of theory and practice of materials cutting"

- Kremen' Z. I., Popovskiy D. A., Yur'ev V. G. — Glazing titanium alloys by diamond-dressed and borazon-dressed wheels 66
- Burochkin Yu. P. — Modern incisor designs with clamped-on of exchangeable many-sided bases 69

Materials treatment without metal removing

- Artes A. E., Sosenushkin E. N., Tret'yuhin V. V., Okun'kova A. A., Gureeva T. V. — New resource-conscious production technologies and energy-saving technologies of fabrication operation through pressure shaping 72
- Grigor'ev S. N., Dmitriev A. M., Korobova N. V., Tolmachyov N. S. — Diminution of strength by closed die forging glasses by means of adjustment of high-necked insertion storage and dispensing twin forging wall 74
- Schedrin A. V., Kozlov A. Yu., Gavrilov S. A., Polyakov A. O. — Influence of composition and application of metal-plating lubrication on outward plastic behavior of work tool with regular microrelief 79

ORGANIZATION AND ECONOMICS OF PRODUCTION

- Rechkalov A. V., Dunaev D. N., Dautova O. R. — Medium-term planning sale and production 81

TECHNICAL INFORMATION

- Teemofeyev B. P., Novikov D. V. — Advanced standard on accuracy of gear wheel and delivery — necessary condition of competitive recovery of domestic gearbox production 85
- Tarhanov V. I. — Binder abilities required for low temperature operation 87

Технический редактор Т. А. Шацкая
Корректор Т. В. Пчёлкина

Сдано в набор 04.03.2013. Подписано в печать 18.04.2013.
Формат 60 × 88 1/8. Бумага офсетная. Усл. печ. л. 10,78.

*Перепечатка материалов из журнала "Вестник машиностроения" возможна при обязательном письменном согласовании с редакцией журнала; ссылка на журнал при перепечатке обязательна.
За содержание рекламных материалов ответственность несет рекламодатель.*

И. В. КОНОВАЛЕНКО, канд. техн. наук, П. О. МАРУЩАК, д-р техн. наук, И. Б. ОКИПНЫЙ, канд. техн. наук (Тернопольский НТУ им. Ивана Пулюя, Украина), e-mail: laboratory22b@gmail.com

Автоматизированный анализ рельефа поверхности разрушения псевдостереометрическим методом¹

Рассмотрена возможность автоматизации лабораторных исследований микроповерхностей разрушения материалов с помощью псевдостереопары. Метод можно использовать для определения геометрии зоны старта трещины вязкого отрыва.

Ключевые слова: разрушение материала, фрактодиагностика, изображение поверхности, автоматизированный расчет.

Possibility of laboratory research automation of microsurface material damage by means of non-stereoscopic pair was examined. This method may be used for determining the generalized set up area of crack ductile cleavage.

Keywords: rupture of material, fracto-diagnostic operation, surface mapping, computational analysis.

Известно, что пластическое деформирование материалов можно рассматривать как стадийный процесс эволюции масштабных уровней потери сдвиговой устойчивости [1]. При этом каждая стадия характеризуется самоорганизацией структурных составляющих по принципу масштабной инвариантности [1–3].

Активизация деформационных процессов обуславливает их локализацию и дальнейшее разрушение материала, механизм которого можно оценить по анализу изломов материалов или натуральных конструкций, т. е. методами фрактодиагностики [5]. В настоящее время фрактодиагностику широко используют для экспертной оценки причин разрушения ответственных конструкций и развивают ее подходы с целью автоматизации исследований, повышения их достоверности и снижения трудоемкости. Активно разрабатывают новые экспериментально-расчетные методы анализа неоднородности полей пере-

мещений и деформаций около концентраторов напряжений [6].

Наиболее информативными для фрактодиагностики являются методы объемного воспроизведения анализируемой поверхности, включая стереометрические, которые дают дополнительную информацию о причинах разрушения материала [7].

Несмотря на множество методов обработки цифровых изображений поверхности и формирования выводов о ее состоянии, в настоящее время остается актуальным создание универсального и эффективного подхода вторичной обработки данных фрактографического анализа. Псевдостереометрический метод позволяет, проанализировав несколько последовательно сделанных фотоизображений, воспроизвести высоту поверхностного рельефа [8], однако с точки зрения оценки параметров поверхности разрушения образцов материалов он недостаточно изучен.

Цель данной работы — автоматизация метода обработки изображений поверхности излома. Исследовали термообработанную сталь 15Х2МФА(П): закалка при 1000 °С в течение 6 ч в масле, отпуск (одноразовый) при 600 °С на воздухе. Механические

свойства стали после такой термообработки: $\sigma_{0,2} = 900$ МПа, $\sigma_B = 1000$ МПа, $\delta = 15,8$ %, $\psi = 39,2$ % [7].

Трещиностойкость материала определяли на компактных образцах толщиной 19 мм. Предварительно на всех образцах выращивали усталостные трещины при коэффициенте асимметрии цикла нагружения $R = K_{\min}/K_{\max} = 0,1$ и частоте нагружения 40 Гц. Здесь K_{\max} , K_{\min} — максимальный и минимальный коэффициенты интенсивности напряжений. Относительная длина трещины составила $0,45 \div 0,55$ ширины образца.

Формализация задач автоматизированного расчета высоты рельефа. Так как фотографическое изображение получено в цифровой форме, в работе использовали цифровую фотограмметрию [9]. Одна из основных задач — автоматизированная обработка топологических данных для воспроизведения высоты локальных участков поверхности.

Для определения высоты рельефных образований опытный образец размещали так, чтобы анализируемый участок поверхности был перпендикулярен оптической оси жестко зафиксированной цифровой фотокамеры. Получали первичное изображение I_1 . Систему координат выбирали с учетом того, чтобы оси X и Y были ориентированы в плоскости анализируемой поверхности, а ось Z совпадала с оптической осью фотокамеры. Затем образец поворачивали вокруг оси Y на угол $\alpha = 2 \div 20^\circ$ и при фиксированных параметрах съемки получали вторичное изображение I_2 анализируемого участка. Изображения I_1 и I_2 образуют стереопару, которая позволяет получить информацию о высоте (глубине) анализируемой поверхности.

На изображениях I_1 и I_2 идентифицировали положение базовой точки A и фиксировали ее координаты X_{A1} и X_{A2} . Далее на обоих изображениях выбирали

¹ Работа выполнена при финансовой поддержке Государственного фонда фундаментальных исследований Украины. Регистрационный номер проекта 0112U005148.

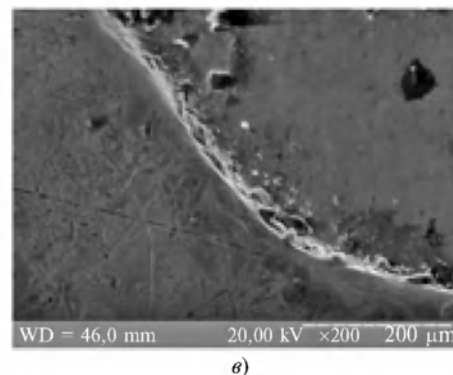
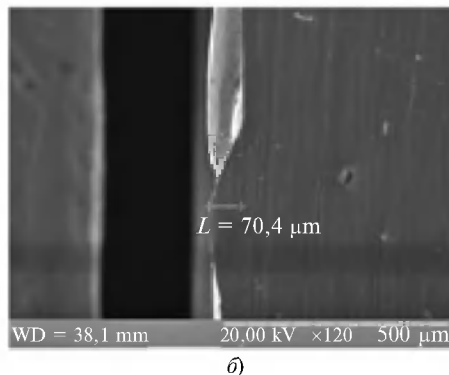
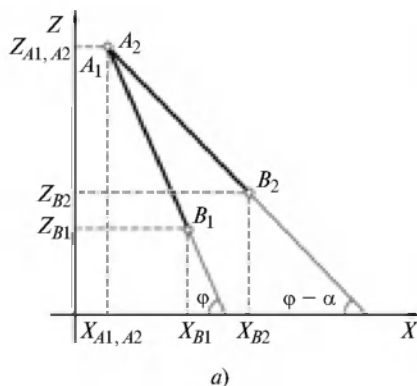


Рис. 1. Схема стереоскопического поворота (а), вид эталонной поверхности сбоку (б) и сверху (в) [4]

точку B , высоту которой необходимо определить относительно базовой точки A , и фиксировали ее координаты X_{B1} и X_{B2} . Высоту между точками A и B по оси Z определяли по формуле [4]

$$\delta Z_{ABN} = \delta X_{A1B1} \times \left(\operatorname{ctg} \alpha - \frac{\delta X_{A2B2}}{\delta X_{A1B1} \sin \alpha} \right), \quad (1)$$

где $\delta X_{A1B1} = X_{A1} - X_{B1}$, $\delta X_{A2B2} = X_{A2} - X_{B2}$; $\delta Z_{A1B1} = Z_{A1} - Z_{B1}$.

Схема данного способа определения высоты показана на рис. 1, а.

Методика определения высоты элементов микрорельефа. Стереопары получали на сканирующем микроскопе РЭМ 106И при соблюдении тождественности увеличения обоих изображений, одинаковых уровнях яркости и контрастности, одном фокусном расстоянии для обеих фотографий [4, 8]. Полученную стереопару объекта до и после поворота на заранее определенный угол называют псевдостереопарой, так как изображение получают из одной точки пространства, тогда как для классического случая — из двух [4].

Угол поворота рассматриваемой поверхности изменяли с помощью гониометрического устройства микроскопа путем наклона предметного столика при его вращении вокруг своей оси. С определенными допущениями такой вид съемки можно назвать "псевдоконвергентным" [8].

Экспериментальная проверка стереоскопического метода на эталонных образцах с известной высотой микронеровностей (рис. 1, б, в) позволила установить, что отклонение измеренной высоты рельефа от истинных значений не превысило 4 %. Это подтверждает возможность применения данного метода для анализа геометрических неровностей поверхности разрушения, например при исследовании морфологии квазистатического отрыва и измерении высоты зоны вытягивания образцов стали 15Х2МФА(II).

Для определения высоты неровностей поверхности локального участка образца проводили серию дискретных поворотов образца вокруг оси Y с шагом $\alpha = 5^\circ$. После каждого поворота при неизменных параметрах оптической системы получали повторное изображение анализируемой области (рис. 2).

Базовое (I_1) и повторные (I_2, I_3, \dots) изображения, получен-

ные при поворотах образца, сохраняли в отдельных графических файлах и обрабатывали по специальной программе согласно алгоритму определения микронеровностей поверхности:

1) на базовом изображении выбирали пару характерных точек A и B и заносили их координаты (X_{A1} и X_{B1}) в память в пикселях (рис. 3, а);

2) на каждом из повторных изображений идентифицировали положение точек A и B и запоминали их координаты (X_{A2} и X_{B2}) в пикселях (рис. 3, б). По формуле (1) рассчитывали высоту δZ_{AB} между точками A и B вдоль оси, совпадающей с оптической осью микроскопа и камеры, и сохраняли ее значение;

3) для повышения достоверности результата рассчитывали усредненную высоту между точками:

$$\delta Z_{AB} = \frac{1}{M} \sum_{N=1}^M \delta Z_{ABN}, \quad (2)$$

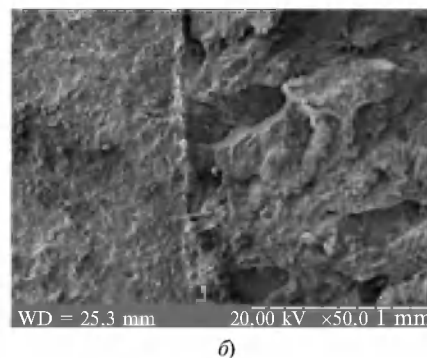
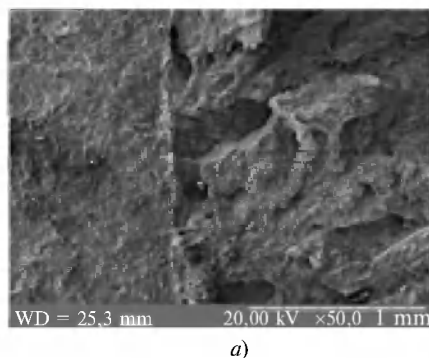


Рис. 2. Изображения поверхности образца:

а — первичное, до поворота; б — вторичное, после поворота на 5°

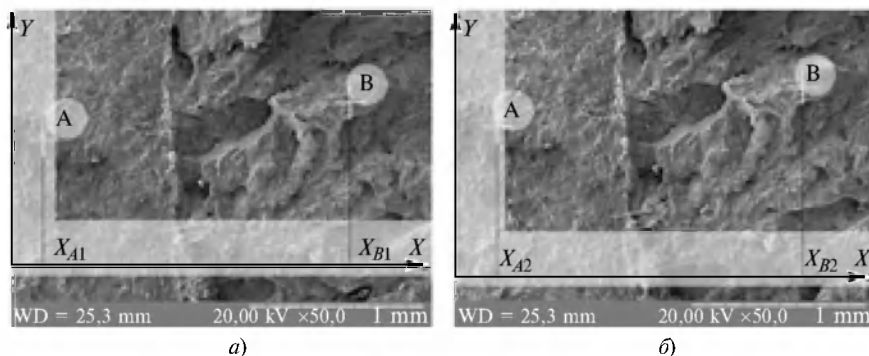


Рис. 3. Первичное (а) и вторичное (б) изображения с идентифицированной парой точек *A* и *B*

где M — число проанализированных пар изображений.

Переход от пиксельной системы измерений к метрической обеспечивался масштабированием.

Практическое определение высоты неровностей поверхности. Предложенную методику использовали для определения высоты зоны вытягивания трещины вязкого отрыва при разных углах α поворота образца относительно его начального положения. Исследования проводили при увеличении микроскопа от 50 до 150. Для исследованных образцов среднеквадратическое отклонение высоты δZ_{ABN} , определенное по формуле (1) для одних и тех же точек *A* и *B* при разных углах поворота, не превышало 0,05 мм.

Предложенная методика позволяет определить относительную высоту рассматриваемой точки изображения. Если выбрать совокупность точек, расположенных вдоль конкретной оси, то можно получить приблизительный профиль поверхности образ-

ца в данном сечении. На рис. 4, а показан фрагмент зоны вытягивания опытного образца с выбранными вдоль оси *X* точками, отклонения которых от горизонтали связаны с необходимостью выбора легко идентифицируемых точек, принадлежащих хорошо узнаваемым элементам поверхности.

На рис. 4, б показано изменение высоты рельефа поверхности исследуемого образца в анализируемой области. По оси *X* отложено расстояние от левого края изображения в пикселях, по оси *Y* — высоты анализируемых точек (см. рис. 4, а), рассчитанные по предложенной методике. Высоту каждой точки определяли при увеличениях от 60 до 150 и ряде значений углов поворота. Полученные результаты усредняли по формуле (2), далее для каждой точки рассчитывали среднеквадратическое отклонение и доверительный интервал полученной высоты. На рис. 4, б показаны интервалы доверительной вероятности 95 % для каждой точки.

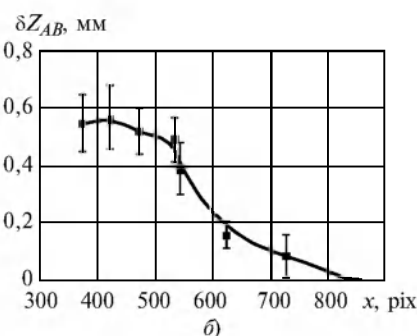
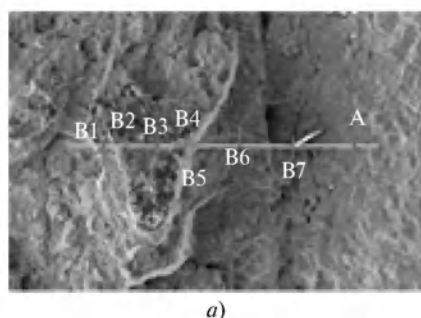


Рис. 4. Совокупность точек вдоль линии, параллельной оси *X* (а), и график их высот относительно базовой точки *A* (б)

На разброс значений, полученных для отдельных точек, влияют такие факторы, как точность определения угла стереоповорота, взаимная перпендикулярность оси поворота и направления наблюдения, увеличение стереопары, параллельность оси поворота вертикальному краю изображения, идентификация одних и тех же точек объекта на обоих изображениях [10—12]. В нашем случае точность величин факторов, кроме последнего, определялась возможностями сканирующего микроскопа РЭМ 106. На разброс полученных значений высоты рельефа наибольшее влияние оказывает точность идентификации пар анализируемых точек на обоих изображениях.

На погрешность идентификации точек также влияют особенности рельефа опытного образца, изменение освещенности при повороте, размер отдельных элементов изображения, четкость их границ и т. д. Важным фактором точности измерений является достаточно высокое разрешение изображения [10]. При небольшом разрешении погрешность ξ_X идентификации координаты точек может быть соизмерима с полученным значением δX_{AB} . Такая особенность может проявляться и при определенных комбинациях разрешения, угла поворота и высоты исследуемых микронеровностей. В общем случае условие получения достоверных результатов можно выразить как $\delta X_{AB} \gg \xi_X$.

Таким образом, доработан и автоматизирован метод определения высоты микронеровностей поверхности с помощью псевдостереопары, которая позволяет определить геометрию зоны стар-та трещины вязкого отрыва.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЕ ССЫЛКИ

1. Панин В. Е. Пластическая деформация и разрушение твердых тел как эволюция потери их сдвиговой устойчивости на разных масштабных уровнях // Вопросы материаловедения. 2002. № 1. С. 34—50.

В. Г. АТАПИН, д-р техн. наук, А. И. РОДИОНОВ, канд. физ.-мат. наук, А. А. РЫКОВ, канд. техн. наук, Г. С. ЮРЬЕВ, д-р техн. наук (Новосибирский ГТУ), e-mail: teormech@ngs.ru

Испытания изделий больших размеров на инерционно-импульсное воздействие

Проведен анализ центробежных стэндов, ранее применявшихся для испытаний малогабаритных изделий, с целью использования их для импульсного разгона больших объектов.

Ключевые слова: центробежная сила, импульс ускорения, маховик, испытания.

Centrifugal stands analysis was realized with the object of their usage for impact dispersal of large plants. These stands were formerly used for test of small-scale makes.

Keywords: centrifugal force, acceleration pulse, fly-wheel, test.

Для испытаний малогабаритных изделий на ударное воздействие высокой интенсивности широко используют стэнды с волноводным трактом для формирования плоской ударной волны, которая нагружает испытуемое изделие [1]. В качестве примера приведем технические характеристики испытательных стэндов Рус. 1, К8-77 и ИЦ-30000/0.01, разработанных на кафедре теоретической механики и сопротивления материалов Новосибирского ГТУ.

Техническая характеристика стэнда Рус. 1

Пиковое значение импульса ускорения . . .	До $7 \cdot 10^4$ g
Длительность импульса, мкс	50÷100
Скорость ударника, м/с	До 40
Форма импульса ускорения	Полусинусоидальная
Масса испытуемого изделия, кг	0,3
Производительность, ударов/мин	2
Размеры стэнда, мм	4500×700×1200

Техническая характеристика стэнда К8-77

Пиковое значение импульса ускорения	$5 \cdot 10^4$ g
Длительность импульса ускорения, мс	0,05÷0,1
Скорость ударника, м/с	До 50
Форма импульса ускорения	Полусинусоидальная
Масса испытуемого изделия, кг	0,5
Производительность, ударов/мин	3
Размеры стэнда, мм	1500×550×650

Техническая характеристика стэнда ИЦ-30000/0.01

Пиковое значение импульса ускорения	$(5 \div 30) \cdot 10^3$ g
Длительность импульса ускорения, мс	5÷15
Форма импульса ускорения	Полусинусоидальная
Производительность, ударов/ч	20
Размеры испытуемого изделия, мм	40×40×40
Размеры стэнда, мм	1200×750×600



(Окончание статьи. Начало см. на стр. 22)

2. Герасимова Л. П., Ежов А. А., Маресев М. И. Изломы конструкционных сталей: Справочник. М.: Металлургия, 1987. 272 с.

3. Стадийность локализованной пластической деформации при растяжении образцов сплава Д16АТ по данным акусто-эмиссии, картирования деформации на поверхности и тензометрии. Ч. 2. Образцы с надпилами различной глубины / С. В. Панин, А. В. Бяков, П. С. Любутиг, О. В. Башков // Дефектоскопия. 2011. № 12. С. 43—54.

4. Deep microrelief measurement and stereo photography in scanning electron microscopy / D. A. Sakseev, E. M. Ershenko, S. V. Baryshev et al. // Technical Physics. 2011. 56. N. 1. P. 127—131.

5. Maruschak P., Baran D. Degradation and cyclic crack resistance of continuous casting machine roll material under operating temperatures // Iranian Journal of Science and Technolo-

gy, Transaction B: Engineering, 2011. 35 (M2). P. 159—165.

6. Оценка деформаций на мезоуровне при распространении усталостной трещины с использованием метода построения полей векторов перемещений / С. В. Панин, П. С. Любутиг, Ю. П. Стефанов, П. О. Марущак // Тр. междунар. конф. "Повреждение материалов при эксплуатации, методы его диагностики и прогнозирования", 21—24 сентября 2009. Тернополь: Изд-во ТНТУ, 2009. С. 163—170.

7. Toughness and failure of heat resistant steel before and after hydrogenation / P. V. Yasniy, I. B. Okipnyi, P. O. Maruschak, et al. // Theoretical and Applied Fracture Mechanics. 2011. V. 56. P. 63—67.

8. Ходжер Т. А. Информационная система фотограмметрического моделирования микрообъектов для биологических исследований: Автореф. дис. ... канд. техн. наук. Ир-

кутск.: Институт вычислительных технологий СО РАН, 2008. 17 с.

9. Stach S., Cybo J. Multifractal detection of overlaps based on a stereometric analysis of a fracture surface: Assumptions // Materials Characterization, 2006. 56 (4—5 Spec. iss.). P. 449—453.

10. Roskosz S., Cybo J., Cwajna J. Properties of sialon ceramics evaluated by means of multifractal, surface stereometry and quantitative fractography techniques // Materials Characterization. 2009. V. 60. P. 1151—1157.

11. Wendt U., Stiebe-Lange K., Smid M. On the influence of imaging conditions and algorithms on the quantification of surface topography // Journal of Microscopy. 2002. V. 207. P. 169—179.

12. Reconstruction of surface topographies by scanning electron microscopy for application in fracture research / J. Stampfl, S. Scherer, M. Gruber, O. Kolednik // Applied Physics A: Materials Science & Processing. 1996. V. 63. N. 4. P. 341—346.